

DETAILED MINERALOGICAL-AND-GEOCHEMICAL MAPPING OF OBJECTS OF MINING AND INDUSTRIAL WASTE AS A MEANS OF THEIR COMPREHENSIVE RESOURCE-ECOLOGICAL INVENTORY AND EVALUATION FOR THE BENEFIT OF THEIR MORE EFFECTIVE UTILIZATION

G.B. Melentjev

Research centre "Ecology and industrial power technology" of Institute of high temperatures, RAS

The report gives the results of detailed multi-element geochemical mapping in undisturbed formations of various types of mineral ores including the ones that are being extracted by mining enterprises and those that are being prospected. Different options of use of individual and multiple geochemical parameters to demonstrate more expressly the volumetric distribution in the bowels of earth of minerals-concentrators of the more valuable and toxic components, which were disregarded in evaluation of the quantity of the main material, are discussed in the report. Special importance in the suggested methodology is given to quantitative-and-mineralogical and mineral-geochemical confirmation of the discovered geochemical abnormalities, including calculation of the mineral-wise balance of distribution of the specially valuable and toxic components in the complex types of ores and in non-ore material.

ДЕТАЛЬНОЕ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ И ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА КАК СПОСОБ ИХ КОМПЛЕКСНОЙ РЕСУРСНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ И ОЦЕНКИ В ЦЕЛЯХ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Г.Б. Мелентьев, emalina@rol.ru

НИЦ «Экология и промышленная энерготехнология» Института высоких температур РАН

Градообразующие горно-промышленные комплексы (ГПК) России в полной мере унаследовали от бывшего СССР экстенсивный способ производства и преимущественно монопродуктовый его профиль, оказавшиеся весьма уязвимыми в условиях естественного истощения недр, роста издержек производства и рыночной экономики. За 70 с лишним лет, прошедших после известных инициатив А.Е. Ферсмана в обосновании на государственном уровне необходимости территориально-производственного комбинирования, глубокой комплексной переработки и использования минерального сырья, эта проблема и связанные с ней задачи в масштабах нашей страны остались неразрешенными. В советское время основным препятствием в их решении явилась пресловутая ведомственная разобщенность предприятий ГПК, а в настоящее время – частная собственность на средства производства и стремление владельцев предприятий к получению максимальной прибыли и «коротких денег» при минимально возможных издержках, т.е. без учета перспектив продления жизнедеятельности предприятий и социально-экономических последствий в случае ее прекращения. В новых экономических условиях предприятия ГПК, с одной стороны, по-прежнему являются основными бюджетобразующими, хотя доля поступлений в бюджет в ресурсодобывающих регионах заметно снизилась – например, в Мурманской области, а с другой – превратившимися из доноров в дотационные, стали эпицентрами медико-экологического неблагополучия населения и территорий, вплоть до формирования новой геологической сущности – геотехносферы. Благодаря трансграничным переносам загрязняющих веществ с атмосферным воздухом и водами ареалы геотехносферы приобретают межрегиональный и даже международный характер.

С этих позиций, в развитие разработанных нами ранее (60-70-е годы) для редкометальных и нерудных месторождений гранитовых формаций прогнозно-поисковых методов, в 70-90-х годах были организованы и выполнены значительные объемы научно-производственных работ по детальному многоэлементному картированию крупнейших эксплуатируемых месторождений горно-химического, глиноземного и нерудного сырья, железорудно-фосфатного, железорудного и комплексного редкометального сырья. Эти работы, помимо решения задач прикладного характера в рамках договоров с предприятиями Кольского ГПК, Карелии, В. Казахстана и Красноярского края, позволили впервые провести детальную геохимическую, минералого-геохимическую и техногеохимическую паспортизацию, т.е. комплексное эталонирование указанных месторождений и представляющих их типов сырья. Основные направления и результаты этих комплексных инновационных разработок иллюстрируются следующими примерами.

1. На Костомукшском ГОКе (ныне ОАО «Карельский окатыш») был организован и выполнен комплекс детальных картировочно-оценочных работ в целях выявления закономерностей распределения золота и сопутствующих микроэлементов в пределах железорудной залежи и вмещающих ее пород. Золото как попутный и особо ценный микрокомпонент железорудного сырья давно привлекает внимание исследователей минералого-геохимической специализации эксплуатируемых месторождений Криворожья,

КМА, Оленегорской группы в Кольском регионе и за рубежом. Спорадическое обнаружение его повышенных содержаний в пробах железистых кварцитов, в том числе – Костомукшского месторождения (до 0,3-3 г/т), а также в концентратах, выделенных из хвостов мокрой магнитной сепарации (до 3,3-7,7 г/т), и из лежалых хвостов обогащения (6,5 г/т), а также значительные объемы добычи и обогащения железорудного сырья (более 19 млн. т/год) бывшим Костомукшским ГОКом (ныне ОАО «Карельский окатыш») с выпуском окатышей порядка 6,5 млн. т и ежегодным сбросом в хвостохранилище около 12,5 млн. т обогатительных песков и шламов, обусловили необходимость организации нами на этом предприятии, как эталонном и потенциально перспективном, комплексных научно-производственных работ в сотрудничестве со специалистами предприятия.

На первом этапе решались задачи геометризации в недрах распределения золота и выявления минеральных форм его концентрации. Работы были сосредоточены в карьере Южном, вскрывающем ЮВ фланг Костомукшского железорудного поля (зоны), которое простирается в СЗ направлении почти на 25 км. В пределах карьера проводилось систематизированное малообъемное геохимическое опробование вмещающих вскрышных пород и фрагментов железорудной залежи в уступах действующих карьеров, а также отбор дубликатов керновых проб из скважин геологической и эксплуатационной разведки, привязанных к сети погоризонтного опробования железорудной залежи, вскрываемой преимущественно на дне карьеров. Все геохимические пробы были подвергнуты массовым атомно-эмиссионным спектральным анализам на 40 элементов, а их представительные выборки (250 проб) – спектрохимическим анализам на золото с контрольной заверкой результатов по 20 пробам. Обработка значимых результатов ($\geq 0,003$ г/т) по 75% проб произведена в 4-х градациях, отвечающих минимально-промышленным содержаниям золота как попутного компонента подобных, эксплуатируемых открытым способом и россыпных месторождений: 0,001; 0,01; 0,01; ≥ 1 г/т). При этом учитывался и нижний предел его содержаний ($\geq 0,03$ г/т), допустимый при извлечении тонкодисперсного золота новейшим технологическим методом.

Результатом геометризации распределения золота в недрах по карьеру Южному в указанных градациях на продольном и поперечном разрезах явилось оконтуривание и параметризация зон его повышенных концентраций. Золотосодержащая зона прослежена на 600-700 м по простиранию и 130-140 м на глубину (по вертикали) от дневной поверхности. Она имеет конфигурацию «конского хвоста», с увеличением мощности к СЗ в несколько раз. В том же направлении, с некоторым смещением к висячему боку железорудной залежи, увеличиваются и содержания золота. Корреляционный анализ данных 40-элементного анализа и спектрохимических определений золота в указанных выборках одних и тех же проб позволил рассчитать коэффициент продуктивности на золото $K_p = As \cdot Ag \cdot Sb \cdot (Pb)$ и коэффициент зональности $K_z = As \cdot Ag \cdot Sb \cdot (Pb) / Ni \cdot Co \cdot Cu$ золотоносных зон в железорудной залежи и вмещающих породах.

В целях количественно-минералогической заверки выявленных геохимических аномалий, выделения мономинеральных фракций для анализов на золото с сопутствующими ценными и лимитируемыми микрокомпонентами и определения форм их концентрации были составлены групповые минералогические пробы весом 20-25 кг по 4-м указанным выше градациям содержаний золота в аномальных зонах и участках. Установлено, что ведущие минералы – его концентраторы представлены пирротинном (от 48-58 до 186-290 кг/т), арсенопиритом (от 96-156 г/т до 0,5-10,2 кг/т) и пиритом (от 134-340 г/т до 0,2-2,3 кг/т). Обнаружена прямая зависимость уровней концентрации золота в руде и породах вскрыши от содержаний этих сульфидных минералов и обратная – с содержаниями магнетита. Результаты анализов мономинеральных фракций этих минералов на золото нейтронно-активизационным методом свидетельствуют о преимущественной его концентрации в арсенопирите (от 11 г/т до 2,23 кг/т), в меньшей степени – в пирите и пирротине (0,02-0,11 г/т), а также в магнетитах и ильмените ($\leq 0,02$ г/т). Свободное золото на данной стадии выполненных работ обнаружено не было, что требует дополнительных специальных исследований и, прежде всего, составления поминеральных балансов распределения золота в исходном железорудном сырье.

Результаты выполненных работ позволяют рекомендовать руководству ОАО «Карельский окатыш» их продолжение в направлениях детального геохимического картирования остальных эксплуатационных участков железорудного поля, комплексной оценки его перспектив на золото с сопутствующими особо ценными и лимитируемыми с технологических позиций микрокомпонентами (Ag, Co, Ge, Ti, V, Nb, Zr, S, P, As, Pb, Tl, U, Th и др.) в соответствии с разработанной методикой и изучения их распределения в сквозном элементопотоке производства по схеме «недра – обогащение (ДОФ) – агломерация (ЦПО) – хвостохранилище» с выявлением технологических узлов возможной концентрации золота.

2. На эксплуатируемых месторождениях апатит-нефелиновых руд ОАО «*Anatut*» разработаны эффективные способы геометризации в недрах распределения промышленно-ценных минералов с использованием результатов экспрессных количественно-спектральных анализов по индивидуальным элементам-индикаторам и геохимическим мультипликативным показателям: Sr - для апатита, $Ti \cdot V$ - для

титаномагнетита, $Ti \cdot Nb$ - для сфена. С использованием указанных и других коэффициентов продуктивности, составленных комплектов многоэлементных геохимических карт на погоризонтных планах, продольных и поперечных разрезах Хибинских месторождений и результатов заверки выявленных повышенных концентраций особо ценных и токсичных элементов-спутников количественными минералого-геохимическими методами разработаны рекомендации на селективную добычу и обогащение разновидностей апатит-нефелинового сырья, имеющие значение для перспектив повышения эффективности и продления жизнедеятельности ОАО «Апатит». В частности, в висячем боку (кровле) апатит-нефелиновой залежи оконтурена зона концентрации сфена, содержащего 0,3% Nb_2O_5 , а в лежащем боку (подошве) – зона концентрации титаномагнетита (1% V_2O_5). Распространение последней прослеживается в экзоконтактах апатит-нефелиновой залежи и, далее, на десятки метров – во вмещающих ее уртитах, которые в этих пределах представляют собой бедное фосфатное, но наиболее богатое титаном сырье. Как известно, опробование при подсчетах запасов профилирующего фосфатного сырья в Хибинах осуществлялось исключительно на титан, что не позволило оценить сопутствующее титановое сырье в реально извлекаемых минеральных формах и, соответственно, их обогатимость. Более того, детальными количественно-минералогическими анализами установлено, что черная тяжелая фракция, традиционно диагностируемая как титаномагнетит, фактически обогащена ильменитом.

Таким образом, для ОАО «Апатит» обоснованы возможности и перспективы селективной добычи сфена из прикровельной зоны апатит-нефелиновой залежи, что практиковалось в довоенные годы на Кировском руднике в целях получения из сфеновых концентратов титанового пигмента, а из фосфатной руды и фосфатно-титановых уртитов подошвы – получения 2-х титановых концентратов: ванадийсодержащего титаномагнетита и обогащенного титаном ильменита. С другой стороны, в осевой зоне апатит-нефелиновой залежи установлено присутствие апатита с аномально высокими для хибинских месторождений содержаниями стронция – до $\geq 5\%$, что также представляет интерес для селективной отработки этой зоны с целью извлечения из апатитового концентрата стронция в условиях временного отсутствия в России других сырьевых источников этого редкого металла. С другой стороны, геохимическим картированием эксплуатируемых месторождений Хибин с количественно-минералогической заверкой выявляемых аномальных зон и участков впервые определены уровни концентрации в рудах и апатитах урана и тория, соотношения между ними и минеральные формы их концентрации. В целом, содержания радиоактивных элементов в апатит-нефелиновом сырье и разнообразие минеральных форм их концентрации возрастают с запада (от Кировского рудника) на восток, т.е. с приближением к Ловозеру, до максимума в апатит-нефелиновом сырье Восточного рудника (Коашвы).

3. На эксплуатируемом ОАО «Ковдорский ГОК» месторождении апатит-магнетитовых руд с сопутствующим тонковкрапленным *бадделейтом* в карбонатах разработана и внедрена методика погоризонтного минералого-радиогеохимического картирования, позволяющая прогнозировать его качество на нижележащих горизонтах до их вскрытия на весь комплекс полезных и лимитируемых компонентов в реально извлекаемых минеральных формах; составлены карты распределения Zr, Hf, U, Th и их отношений на сводном плане месторождения; выявлены 3 сорта бадделейтсодержащих руд, различающихся по характеру радиоактивности, установлена повышенная извлекаемая ценность бадделейтовых и других товарных концентратов и рекомендован комплекс мер по повышению эффективности их реализации и обеспечению радиационной безопасности.

4. На эксплуатируемых и разведываемых месторождениях бывшего *Белогорского ГОКа* в В.Казахстане, профилированного на выпуск собственно *танталовых* концентратов, и *Ловозерского ГОКа*, профилированного на выпуск *лопаритовых* концентратов (Ta, Nb, TR, Ti), т.е. для двух основных источников редкометального сырья в СССР, разработаны и усовершенствованы способы дифференцированного выделения и комплексной оценки различных типов руд с составлением поминеральных балансов распределения в них полезных и лимитируемых компонентов, включая редкие и радиоактивные элементы, т.е. их паспортизации.

5. С применением методов геохимического картирования и минералого-геохимической паспортизации *рудных песков* выполнена комплексная оценка перспективности *Караоткельского месторождения ильменит-цирконовой россыпи*, разведанного в В. Казахстане. Установлены повышенные содержания ниобия (с танталом) и скандия в ильменитах и крайне низкие содержания радиоактивных элементов в цирконах, что позволило рекомендовать это месторождение в качестве первоочередного объекта промышленного освоения среди других россыпных месторождений бывшего СССР, как правило, содержащих радиоактивный циркон и ильменит, обедненный редкими элементами-примесями. Экспериментально подтверждена технологическая возможность получения из ильменитового концентрата восстановительной плавкой титанового шлака со скандием и чугуна, природнолегированного ниобием (с танталом). Результаты исследований использованы в качестве раздела в сводном отчете с подсчетом запасов, утвержденном ГКЗ СССР.

6. На крупнейшем химико-металлургическом предприятии по переработке необогащенного нефелинового сырья на глинозем с сопутствующими содопродуктами и цементом – ОАО «Ачинский глиноземный комбинат» (АГК) разработана комплексная техногеохимическая методика оценки распределения и выявления узлов концентрации рассеянных особо ценных и лимитируемых микрокомпонентов в материальном потоке производства. Установлены повышенные концентрации галлия и рубидия в остаточных растворах, рекомендованные для промышленного извлечения по технологиям Волховского алюминиевого завода и ИХТРЭМС КНЦ РАН. Реализована рекомендация на попутное извлечение галлия как особо ценного товарного продукта созданием на предприятии опытно-промышленной установки. Впервые дана полная характеристика химическому составу объемных твердых отходов производства – пылевым выбросам печей и шламам, загрязняющим окружающую среду в районе г. Ачинска. Реализована рекомендация на попутное извлечение галлия как особо ценного товарного продукта созданием на предприятии опытно-промышленной установки.

7. На месторождениях мусковитового и калиевополевошпатового сырья, эксплуатировавшихся ПО «Карелслюда» и «Ковдорслюда», а также Белогорским ГОКом (Новобратское – 25% общесоюзной добычи к.п.ш.) разработан способ прогнозной геохимической оценки гранито-гнейсовых толщ с аплитами и пегматитами на промышленную слюду – мусковит с использованием коэффициента продуктивности $Pb \cdot Ce \cdot La \cdot Y \cdot Yb / Ti \cdot Cr \cdot V \cdot Ni \cdot Co$, способ петрохимической разбраковки выходов пегматитов по степени перспективности на к.п.ш. и редкие металлы и методика составления поминеральных балансов распределения основных петрогенных элементов и микроэлементов для комплексной оценки качества и выхода керамического сырья в вариантах его ручной выборки и механизированного обогащения после измельчения.

В целом, разработки и применения рассматриваемых методов позволяют решить задачи прогнозной оценки и рационального использования природного минерального и техногенного сырья на всех стадиях геолого-разведочных работ, эксплуатации месторождений и комплексной переработки руд, концентратов и отходов горно-промышленных и химико-металлургических производств, включая утверждение запасов в ГКЗ и организацию новых производств в условиях их оптимизации и экологизации. Применительно к соответствующим месторождениям техногенного сырья их минералого-геохимическое картирование и оценка представляются необходимой основой для любых вариантов капитализации, комплексной переработки и эффективного использования. При этом особое значение имеет привязка выявляемых геохимических аномалий к конкретным природным или техногенным их источникам, представленным реально извлекаемыми минеральными формами концентрации рудного вещества или ингредиентами загрязнения окружающей среды, причем как индивидуальными, так и ассоциированными. Это обеспечивает возможности расшифровки и оценки этих аномалий, необходимых для принятия инновационно-технологических решений на всех стадиях работ с минеральным сырьем и техногенными ресурсами.

NATURAL MINERAL SORBENTS AND COMPONENTS OF FERTILIZERS AS A COMPETITIVE LOCAL AND EXPORT RAW MATERIAL FOR DEVELOPMENT OF INNOVATIVE BUSINESS IN THE SPHERE OF RESOURCES AND ECOLOGY

G.B. Melentjev¹, L.M. Delitsyn¹, A.A. Zubkov², V.V. Skiba³

¹ Research centre “Ecology and industrial power technology” of Institute of high temperatures, RAS

² JSC “Ecomet Plus”

³ Geological institute, KolSC RAS

The report provides justification for wide use in the industry and agriculture of local raw materials represented by small deposits of natural sorbents and non-traditional fertilizers, also as an alternative to technological products of major industrial monopolists, which are mostly oriented on international market. In this respect the authors remind of the similar experience of the former USSR in the 20s-30s and the existing practice abroad of effective use of natural sorbents and agricultural raw materials in various spheres of production.

Possibilities of utilization of the local resources of natural sorbents and ores by mining, ore processing and technical-and-ecological enterprises have been studied taking into consideration the drastically changed geography of location of their sources and processing facilities with collapse of the USSR and importance of creating a network of respective innovative entrepreneurship in the regions of Russia.